

Method and apparatus for producing parts by selective sintering

Patent Number: ☐ [US4937420](#)

Publication date: 1990-06-26

Inventor(s): DECKARD CARL R (US)

Applicant(s): UNIV TEXAS (US)

Requested Patent: ☐ [WO8802677](#)

Application Number: US19870105316 19871005

Priority Number(s): US19870105316 19871005; US19860920580 19861017

IPC Classification: B23K26/00

EC Classification: [B22F3/00K](#), [B22F3/105](#), [B22F3/105S](#), [B22F7/02](#), [B23K26/00C3D](#), [B23K26/08](#), [B23K26/34](#), [B29C41/12](#), [B29C67/00L2](#), [C23C24/08](#), [C23C24/10](#), [C23C26/02](#), [G05B19/41](#), [B29C41/46](#)

Equivalents: AU1046688, AU3524193, AU603412, AU632195, AU659289, AU6834690, BG47343, BR8707510, ☐ [DE287657T](#), DE3750931D, DE3750931T, DE3751818D, DE3751818T, DE3751819D, DE3751819T, DK329888, ☐ [EP0287657](#) (WO8802677), A3, B1, B2, ☐ [F184329B](#), ☐ [F184329C](#), ☐ [F1882881](#), HK194796, HK205796, HK205896, HU56018, JP1502890T, JP2542783B2, JP2620353B2, JP2800937B2, ☐ [JP6192702](#), ☐ [JP8260163](#), KR9608015, MC1931

Abstract

A method and apparatus for selectively sintering a layer of powder to produce a part comprising a plurality of sintered layers. The apparatus includes a computer controlling a laser to direct the laser energy onto the powder to produce a sintered mass. The computer either determines or is programmed with the boundaries of the desired cross-sectional regions of the part. For each cross-section, the aim of the laser beam is scanned over a layer of powder and the beam is switched on to sinter only the powder within the boundaries of the cross-section. Powder is applied and successive layers sintered until a completed part is formed. Preferably, the powder dispensing mechanism includes a drum which is moved horizontally across the target area and counter-rotated to smooth and distribute the powder in an even layer across the target area. A downdraft system provides controlled temperature air flow through the target area to moderate powder temperature during sintering.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

第2620353号

(45)発行日 平成9年(1997)6月11日

(24)登録日 平成9年(1997)3月11日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
B 2 3 K 26/00			B 2 3 K 26/00	A
	3 1 0			3 1 0 B
26/08			26/08	B
B 2 9 C 67/04		8413-4F	B 2 9 C 67/04	
C 0 4 B 33/32			C 0 4 B 33/32	Z
発明の数1(全 12 頁)				

(21)出願番号 特願昭63-500437
(86)(22)出願日 昭和62年(1987)10月14日
(65)公表番号 特表平1-502890
(43)公表日 平成1年(1989)10月5日
(86)国際出願番号 PCT/US 87/02635
(87)国際公開番号 WO 88/02677
(87)国際公開日 昭和63年(1988)4月21日
(31)優先権主張番号 920, 580
(32)優先日 1986年10月17日
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 105, 316
(32)優先日 1987年10月5日
(33)優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73)特許権者 999999999
ボード、オブ、リージェンツ、ザ、ユニ
バーシティ、オブ、テキサス、システ
ム
アメリカ合衆国テキサス州、オースチ
ン、ウェスト、セブンス、ストリート、
201
(72)発明者 デッカー、カール アール
アメリカ合衆国テキサス州、オースチ
ン、レイク、オースティン、ブルパー
ド、ユー、ティー、エム、エッチ、ピ
ー、ナンバー、94
(74)代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外4名)

審査官 鈴木 由紀夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 選択的焼結によって部品を製造する方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】粉末第1層を目標表面に分与し；
前記粉末第1層における部品の第1断面に対応する部分
に、その部分の前記粉末を焼結させるべくレーザビーム
を選択的に指向させ；
前記レーザビームの選択的指向の後に前記粉末第1層上
に粉末第2層を分与し；
前記粉末第2層における部品の第2断面に対応する部分
に、その部分の前記粉末を焼結させるべく、また前記粉
末第2層のその部分において焼結した粉末を前記第1層
中の焼結した粉末に接合させるべくレーザビームを選択
的に指向させ；
以後必要な回数だけ連続して、直前の粉末層についての
レーザビームの選択的指向の後に前記直前の粉末層上に
次の粉末層を分与し、分与したその粉末層における部品

2

の断面に対応する部分に、その部分のその粉末層の粉末
を焼結させるべく、またその粉末層のその部分において
焼結した粉末を前記直前の層中の焼結した粉末に接合さ
せるべくレーザビームを選択的に指向させる工程を反復
し、
そして、全工程を通じて目標区域の粉末を焼結温度より
低い温度に加熱することにより、焼結したおよび非焼結
の粉末の温度を制御し、
部品が製造された後、非焼結の粉末を取り除く、
各工程を含む、粉末から部品を1層ずつ積層的に製造す
る方法。

【請求項2】前記制御する工程は、気体を加熱すること
及び加熱した気体を前記目標区域に指向させることを含
む請求項1に記載の方法。

【請求項3】前記の目標区域に指向した加熱気体を、目

標区域から排出させることをさらに含む請求項2に記載の方法。

【請求項4】前記の加熱気体の排出を目標区域の下方から行う請求項3に記載の方法。

【請求項5】前記分与する工程が、前記目標区域に近接して粉末を分与することを含み；かつ前記分与する工程数に前記目標区域に沿ってドラムを移動させ；この移動の間前記目標区域に沿って前記ドラムが移動する方向とは逆の方向にドラムを回転させ；ドラムが目標区域に沿って移動している間、粉末をこの逆回転ドラムと接触させ、それによりこの移動の後、粉末層が目標区域上に形成されるようにする請求項1に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の技術分野】

本発明は、粉末を選択的に焼結して部品を製造する方法に関するものであり、とくにその際指向レーザービームを使用する方法に関するものである。

【従来の技術】

通常の部品製造法の経済性は、一般に製造される部品の数量と、仕上がり部品の所望の材質とに関連している。例えば、大規模鋳造および押し出し技術は多くの場合にコスト的に有利であるが、この生産方法は一般に少量生産、すなわち交換部品またはプロトタイプの製造には不適当である。このような通常の部品製造法の多くは特殊の機械加工を必要とする。粉末冶金法さえも粉末成形用ダイス型を必要とするので、小規模生産には向きである。

少数の部品のみが望まれる場合、一般にその製造のためには不利な機械加工を含む通常の製造法が使用される。このような不利な製造法においては、素材ブロックから材料を切り出して、これを複雑な形状に加工する。機械加工の例は、フライス削り、穴あけ、研磨、旋盤切断、炎切断、放電加工などである。このような通常の機械加工法は所望の部品を製造するには有効であるが、多くの点において問題がある。

【発明が解決しようとする課題】

第1に、前記のような加工法は多量の廃棄物を生じる。またこのような加工法は、適当な加工手順と工具の準備（セットアップ）のために最初に多額の費用を必要とする。準備時間そのものがコスト高の原因になるのみならず、人間の判断と技能を多分に必要とする。もちろん、少数の部品のみを製造する場合、これらの問題点がさらに重大となる。

このような通常の機械加工に伴う他の問題は工具の摩耗であって、これは、工具の交換コストがかかるのみならず、工具が摩耗するに従って加工精度が低下する。機械加工によって製造される部品の精度と公差に関するもう1つの制限的要因は特定の工作機械に固有の公差限度である。例えば通常のフライス盤または旋盤において、親ネジおよびウェーは一定の公差に製造され、このこと

が工作機械によって部品を製作する際の公差を制限する。もちろん工作機械の年齢と共に、得られる公差が減少する。

そしてこのような工作機械による加工法の問題は、沢山の種類の部品の形状を製造することが困難または不可能なことである。すなわち、通常の加工法は一般に、対称形部品および外部のみが加工される部品の製造に最も適している。しかし所望の部品が異常な形状を有しあるいは内部特徴を有する場合、加工が困難になり、またしばしば部品の製造のためにセグメントに分割しなければならない。多くの場合、部品上の工具設置に関する制限の故に、特定の形状の部品製作が不可能である。すなわち工具の寸法と形状から、所望構造の部品の製造のための工具アクセスが困難となる。

さらに付加的な加工法が存在する。例えば、メッキ、クラディング、およびある種の溶接工程は、素材基質に対して材料が付加されるが故に付加的加工である。近年、他の型の付加的加工法が開発された。これは、レーザービームを使用して、素材製品上に材料を被覆または堆積させることにある。例えば、米国特許第4,117,302号、第4,474,861号、第4,300,474号、および第4,323,756号がある。これら最近のレーザー加工法は、主として予め機械加工された製品に対して被覆を被着するにある。このようなレーザー被覆法のみによって得られる冶金学的特性を得るため、この方法がしばしば使用されている。代表的にはこのレーザー被覆法において、素材製品を回転させ、被覆材料を製品上に噴霧しながらレーザーをその固定位置に指向すると、レーザーが被覆を製品上に溶着する。

【課題を解決するための手段】

このような問題点を解決すべく、本発明者は粉末から部品を1層ずつ積層的に製造する方法を発明した。この方法は、分与した粉末第1層にレーザービームを指向して必要部分に選択的焼結を起させ、引続いてその上に粉末第2層を分与し、分与した粉末第2層にレーザービームを指向して必要部分に同様に選択的焼結を起させ同時にこの焼結した粉末部分を粉末第1層の焼結した部分に接合させ、これを反復して1層ずつ積層的に三次元部品を製造する方法であり、従来の部品製造の概念とは画期的に異なる方法である。本発明により、従来の通常の鋳造、押し出し、粉末冶金、工作機械加工による製造、工具を使用する製造、付加加工による製造における問題点を一挙に消滅させることができた。

本発明における基本概念は付加法であって、目標区域に粉末が分与され、そこでレーザーが層ごとに選択的に粉末を焼結して、一層一層と焼結層を形成する。さらに積層法であって、仕上がり部品が形成されるまでに、各層が相互に接合される。本発明の方法は特定の型の粉末に限定されることなく、プラスチック、金属、重合体、セラミックスの粉末または複合材料に適用され得る。

本発明は、粉末第1層を目標表面に分与し；

前記粉末第1層における部品の第1断面に対応する部分に、その部分の前記粉末を焼結させるべくレーザビームを選択的に指向させ；

前記レーザビームの選択的指向の後に前記粉末第1層上に粉末第2層を分与し；

前記粉末第2層における部品の第2断面に対応する部分に、その部分の前記粉末を焼結させるべく、また前記粉末第2層のその部分において焼結した粉末を前記第1層中の焼結した粉末に接合させるべくレーザビームを選択的に指向させ；

以後必要な回数だけ連続して、直前の粉末層についてのレーザビームの選択的指向の後に前記直前の粉末層上に次の粉末層を分与し、分与したその粉末層における部品の断面に対応する部分に、その部分のその粉末層の粉末を焼結させるべく、またその粉末層のその部分において焼結した粉末を前記直前の層中の焼結した粉末に接合させるべくレーザビームを選択的に指向させる工程を反復し、

そして、全工程を通じて目標区域の粉末を焼結温度より低い温度に加熱することにより、焼結したおよび非焼結の粉末の温度を制御し、

部品が製造された後、非焼結の粉末を取り除く、

各工程を含む、粉末から部品を1層ずつ積層的に製造する方法に関する。

本発明においては、粉末各層における、部品を製造しようとする目標区域、すなわち部品の各断面に対応して選ばれた位置に指向せしめる選択的焼結のためのエネルギー源としては、当該区域にビームを選択的に放出するレーザビームのような指向性エネルギー源を使用する。粉末分与系が目標区域上に粉末を堆積する。目標区域上に分与された粉末層を焼結するために、レーザ制御機構がレーザビームの標的を移動させ、またレーザを変調する。制御機構は、部品の所望の層を生じるように、形状を定めるための境界内 (within defined boundaries) に堆積され粉末のみを選択的に焼結する。制御機構によってレーザが継続的に粉末層を次々に選択的に焼結して、相互に焼結された複数層から成る全体部品を形成する。各焼結区域の境界が部品のそれぞれの断面区域に対応する。好ましくは、制御機構は、各層について境界を特定するためのコンピュータ、例えばCAD/CAM系を含む。すなわち、コンピュータは部品の全体寸法と形状のデータを与えられると、各層について境界を特定し、特定された境界に対応してレーザ制御機構を動作する。あるいは、最初から各層の特定の境界をコンピュータにプログラミング入力することができる。

好ましい実施態様において、レーザ制御機構は、目標区域中においてレーザビームを指向する機構と、目標区域中において粉末を選択的に焼結するためレーザビームをオンオフ変調する機構とを含む。1つの実施態様にお

いて、指向機構は、レーザビームの標的を目標区域の連続ラスタ走査モードで動かすように作動する。レーザビームの標的がそれぞれの層の特定の境界内部にある時にのみ粉末が焼結されるように、変調機構がレーザビームをオンオフ変調する。あるいはレーザビームがそれぞれの層の特定境界内部のみを連続的に焼結できるように、指向機構がレーザビームを境界内部のみに指向する。

好ましい実施態様において、指向機構が、検流計によって駆動される一対の反射鏡を使用して、レーザビームを目標区域の反復ラスタ走査モードで移動させる。第1反射鏡がレーザビームを第2反射鏡に反射し、この第2反射鏡がレーザビームを目標区域の中に反射する。検流計による第1反射鏡の運動がレーザビームを目標区域中において第1方向に移動させる。同様に、第2反射鏡の運動がレーザビームを目標区域中において第2方向に移動させる。好ましくは、第1方向と第2方向が相互に直交するように、両方の反射鏡が相対的に配置される。このような構造により、本発明の好ましい実施態様としてのラスタ走査ボタンを含めて、目標区域中の種々の型の走査ボタンが可能である。

本発明の部品製造法は、粉末の第1部分を目標面上に堆積する段階と、目標面に沿って指向レーザビームの標的を走査する段階と、第1粉末部分の第1層を目標面上において焼結する段階とを含む。第1層は、部分の第1断面区域に相当する。レーザビームの標的が第1層を画成する境界内部にある時に指向エネルギー源を走査することによって粉末を焼結する。粉末の第2部分を第1焼結層の上に堆積させ、レーザビームの標的を第1焼結層の表面に沿って走査する。レーザビームの標的が第2粉末部分の第2層の境界内部にある時に指向エネルギー源を走査することによって、第2層を焼結する。第2層の焼結は同時に第1層と第2層を接合させ一体として接合体 (Cohesive mass) とする。先に焼結された層の上に逐次に粉末部分を堆積させ、各堆積層を逐次焼結させる。1つの実施形態として、粉末を連続的に目標区域の中に堆積させる。

好ましい実施形態において、レーザビームの標的がそれぞれの層の境界内部に指向されている時に粉末が焼結されるように、レーザビームがラスタ走査中にオンオフ変調される。好ましくはレーザビームはコンピュータによって制御される。このコンピュータはCAD/CAM系を含み、この場合、製造される部品の全体寸法と形状に関するデータをコンピュータに与え、このコンピュータが部品の各目標区域の境界を確定する。コンピュータは、確定された境界を使用して、部品の断面区域に対応して各層の焼結を制御する。他の実施形態においては、コンピュータは部品の各断面区域の境界データのみをプログラミングされる。

さらに本発明の他の実施態様は、目標区域上に粉末を平坦層として分布する。好ましくは、この分布にお

て、ドラムと、ドラムを目標区域に沿って移動させる機構と、ドラムが移動する際にこれを逆回転させる機構とを含む分布装置を使用する。ドラム移動機構は、好ましくは所望厚さの粉末層を生じるように、ドラムを目標区域上方に所望間隔に保持する。ドラムは逆回転されながら目標区域に沿って移動し、運動方向に粉末を放出し、その背後に所望厚さの粉末層を残す。

さらに目標区域の粉末の温度を、粉末を焼結温度より低い温度に加熱することにより調整する。そのための粉末温度調整機構は、たとえば下向き送気機構から成り、この機構は目標区域を画成する支持体と、目標区域に雰囲気気体例えば空気を送る機構と、目標区域に達する前に気体温度を制御する機構を含む。支持体は、好ましくは、粉末を堆積させる多孔媒体と、多孔媒体に隣接するブレナムを含む。このようにして加熱気体は、目標区域の粉末に向けられ、目標区域中の焼結した粉末と焼結しなかった粉末の温度調整を進行させる。

前記の説明から明らかなように、本発明の方法は、公知の部品製造に伴う多くの問題を解決する。第1に、プロトタイプ部品の製造および限られた量の交換部品の製造に好適である。さらに本発明の方法は、通常法によっては得られない複雑形状の部品の製造が可能である。さらに本発明は、部品製造公差に対する制限要因としての工具摩耗および機械設計誤差を除去する。そして本発明ではCAD/CAM環境の中に入れた場合、多数の交換部品をコンピュータの中にプログラミングし、最小限のセットアップでまたは最小限の人間介入をもって容易に製造することができる。

添付図面について述べれば、第1図は本発明の方法に使用する装置の1例の全体図を示す。全体として、装置10はレーザ12と、粉末分与器14と、レーザ制御手段16とを含む。さらに詳しくは、粉末分与器14は、粉末22を受けるホッパ20を有し、このホッパは排出口24を有する。この排出口24は粉末を目標区域26の中に分与するように配向され、この区域26は第1図においては全体的に包囲構造28によって画成される。もちろん、粉末22を分与するために他の多くの実施態様が可能である。

レーザ12の構成要素を第1図において多少略示的に示し、これはレーザヘッド30、安全シャッタ32およびフロントミラー組立体34とを含む。使用されるレーザの型は多くのファクタに依存し、特に焼結される粉末22の型に依存している。第1図の実施態様においては、Nd:YAGレーザ（レーザメトリックス9500Q）を使用した。これは、連続モードの100ワット最高出力を有し、連続モードまたはパルスモードで作動することができる。レーザ12のレーザビーム出力は、赤外線に近いほぼ1060nmの波長を有する。第1図に図示のレーザ12は、ほぼ1キロヘルツ乃至40キロヘルツの選択範囲とほぼ6ナノ秒の持続時間とを有する内部パルスレート発生器を含む。パルスモードまたは連続モードのいずれにせよ、レーザ12は第

1図の矢印によって示された通路に沿って走行するレーザビームを選択的に発生するように、オンオフ変調させることができる。

レーザビームを焦点合わせするため、集束レンズ36と38が第1図に図示のようにレーザビームの走路に沿って配置されている。集束レンズ38を使用するだけでは、この集束レンズ38とレーザ12との間隔を変動することによって真焦点の位置を容易に調節することができない。レーザ12と集束レンズ38との間に配置された集束レンズ36は、この集束レンズ36とレーザ12との間に虚焦点を作る。集束レンズ38と虚焦点との間隔を変動させることにより、集束レンズ38のレーザ12と反対側のレーザビーム走路に沿って真焦点を制御することができる。近年、光学分野で多くの進歩が成され、レーザビームを一定の位置に効率的に焦点合わせするためのその他の多くの方法が存在する。

さらに詳しくは、レーザ制御手段16はコンピュータ40と走査系42とを含む。好ましい実施態様において、コンピュータ40はレーザ制御用マイクロプロセッサと、データ発生用CAD/CAMシステムを含む。第1図に図示の実施態様において、パソコンが使用され（Commodore64）、その主アトリビュートはアクセシブルインターフェースポートと、ノンマスカブル割り込みを発生するフラグラインとを含む。

第1図に図示したように、走査系42は、レーザビームの走路を方向変換するプリズム44を含む。もちろん装置10の具体的レイアウトが、レーザビーム走路の操作のために単数のプリズムを必要とするか複数のプリズム44を必要とするかを決定する際の基本的ファクタである。また走査系42はそれぞれの検流計48,49によって駆動される一対の反射鏡46,47を含む。検流計48,49は、それぞれの反射鏡46,47を選択的に配向するようにそれぞれの反射鏡に連結される。検流計48,49は相互に直角に取り付けられ、従って反射鏡46,47が相互に直角に取り付けられる。関数発生ドライバー50が検流計48の運動を制御し（検流計49は検流計48の運動に従属させられる）、従ってレーザビームの標的（第1図において矢印で示す）が目標区域26の中において制御される。第1図に図示のように、ドライバー50はコンピュータ40に対して作動的に連結されている。走査系42として使用するため、他の走査法、例えば音響-光学スキャナー、回転多角形反射鏡、および共鳴反射鏡スキャナーを使用することができる。

第2図は、本発明方法によって製造される部品52の一部と目標区域に対するレーザビームのラストボタンが略示されている。部品は4層54-57から成る。レーザビーム64の標的はラスト走査ボタン66に向けられている。この明細書において、「標的」は方向を示す中立的用語であって、レーザ12の変調状態を意味するものではない。便宜上、軸線68は急速走査軸線とし、軸線70は低速走査

軸線とする。軸線72は部品の形成方向である。

第9図と第10図に製造される部品の層上に配置された粉末を分与する粉末分与器20の他の実施態様を示す。第9図は垂直断面図、第10図は斜視図である。全体として、支持体100が目標区域102を画成し、この区域に対してレーザービーム64の標的が指向される(第1図)。ホッパー104が粉末106を開口108から目標区域102に分与する。計量ローラ(図示されず)が開口108に配置され、このローラが回転された時に、一定量の粉末を目標区域102の末端110に線状に配置する。

ならし機構114が粉末の山106を目標区域の他端112に向かって広げる。ならし機構114は、外側に刻み付き面(knurlled surface)を備えた円筒形ドラム116を含む。バー120上に取り付けられたモータ118が滑車122とベルト124を介してドラム116に連結されてこれを回転させる。

またならし機構114はドラム116を目標区域の一端110と他端112との間を移動させる機構126を備える。機構126は、バー120を水平方向および垂直方向に移動させるX/Yテーブル128を含む。すなわち、このテーブル128が固定され、プレート130がテーブル128に対して選択的に可動である。

製造中の製品の温度を制御するための粉末温度制御装置の実施態様を第11図に示す。レーザービームによってまだ走査されていない粒子の温度と、すでに走査された粒子の温度との間に差異があり、このため製造中の製品に望ましくない収縮が生じることが観察された。この場合焼結された粒子と非焼結粒子の温度を温度調整することが必要となる。このため雰囲気気体を温度調整して下降流として目標区域に通すことにより、上記のような好ましくない温度差を解消し、製品の望ましくない収縮を避けることができることがわかった。雰囲気気体の温度調整は、粉末の軟化点以上であるが、十分な焼結の起る温度以下に加熱して行う。第11図の実施態様は下方送気装置132を備えており、上記のように加熱して温度調整した空気を下方送気して、焼結しようとする粉末の上層と温度調整した空気との間に熱移動を行わせ温度制御を行って、前記したような収縮を低減させ得る。この熱交換が焼結される粒子の上層の温度を調整し、上層の平均温度を制御し、製造する製品から体積熱を除去することによって、製品が非焼結物質中に生長することを防止するのである。

下方送気装置132は、目標区域136を画成する支持体134と、空気を目標区域に向かって送る手段と、電気抵抗142など流入空気の温度を制御する機構などを含む。空気を目標区域に送る手段は、支持体134を包囲するチャンバ138と、送気ファン140および/または吸引ファン141を含む。窓144がビーム64(第1図)の標的を目標区域136に対して導入する。第1図または第10図に図示のような粉末分与機構(図示されず)が少なくとも部分的

にチャンバ138の中に配置されて、粉末を目標区域136の上に分与する。

支持体134はハニカム状多孔質媒体148の上にフィルタ媒体146(細孔紙)を支持する。空気を集めて出口152に送るためにプレナム150が配置される。もちろん出口152は真空源141またはその他の空気処理機構に接続される。

本発明の基本的着想は層ごとに部品を形成するにある。すなわち部品は複数の別々の断面区域からなるものとみなされ、これらの区域が積層されて部品の三次元構造を成す。それぞれの断面区域は二次元境界によって画成され、もちろん各区域がそれぞれ独特の境界を有することができる。また好ましくは各層の厚さ(軸線72方向の寸法)は一定とする。

本発明の方法においては粉末22の第1部分が目標区域26の中に分与され、レーザービーム64によって選択的に焼結されて、第1焼結層54を作る(第2図)。この第1焼結区域54は所望の部品の第1断面区域に相当する。レーザービームは分与された粉末22を画成された境界内部においてのみ選択的に焼結する。

もちろん、粉末22を選択的に焼結する他の手段がある。1つの手段はレーザービームの標的を「ベクトル」方式で指向するにある。すなわちビームが実際に所望の部分の各断面区域の輪郭と内部を実際にたどるにある。あるいはビーム64の標的を反復ボタンで操作し、またレーザー12を変調させる。第2図においてはラスタ操作ボタン66を使用するが、これはその実施の簡単さの故にベクトル方式に勝っている。他の手段は、ベクトル方式とラスタ操作方式とを組合せ、1つの層の所望の境界をベクトル方式でたどり、境界の内部をラスタ操作モードで照射するにある。もちろん選ばれる方法について選択の余地がある。例えばラスタモードは、ベクトルモードと比較して、ラスタボタン66の軸線68,70に対して平行でない円弧および線を近似するにすぎない点で不利である。場合によっては、ラスタボタンモードで製造される時に部品の解像度が低下する。しかしラスタモードは実施の簡単さの故にベクトルモードに勝っている。

第1図に戻って、目標区域26において連続ラスタボタンでレーザービーム64の標的が走査される。ドライバ50はラスタボタン66(第2図)を生じるように検流計48,49を制御する。反射鏡46の運動は急速走査軸線68(第2図)に沿ったレーザービーム64の標的の運動を制御するのに対して、反射鏡47の運動は低速走査軸線70に沿ったレーザービーム64の標的の運動を制御する。

ビーム64の標的の現在位置はドライバ50を通して、コンピュータ40にフィードバックされる(第3図)。下記に詳細に説明するように、コンピュータ40は次に作られる部品の断面区域に関する情報を保持している。従って、バラバラの粉末22の一部が目標区域26の中に分与され、レーザービーム64の標的がその連続ラスタボタンで動

かされる。ラストボタン66の中において所望の間隔でレーザービームを選択的に発生するように、コンピュータ40がレーザ12を変調する。このようにして、レーザ12の指向ビームが目標区域26の中において粉末22を選択的に焼結して、所望の断面区域の境界を有する所望の焼結層が得られる。このプロセスを層ごとに繰り返し、各層を相互に焼結して、凝集部品、例えば第2図の部品52を製造する。

第1図に図示のレーザヘッド30の比較的低い出力の故に、粉末22はこの低い出力と両立する低い融解熱のプラスチック材料（例えばABS）から成る。この例において、被照射位置での粉末22の焼結は液相焼結であり、粉末22の局部的熔融が起る。本発明によって製造された部品について、数種の後形成処理が考えられる。例えば、このようにして製造された部品をプロトタイプのモデル、すなわち砂形鑄造あるいはろう型鑄造の金型として使用する場合には、後形成処理は必要ない。また他の場合には、製造された部品の一部を緊密な公差に設計するために、ある程度の後形成加工が実施される。あるいは、ある種の型の部品は特定の材料特性を有する必要があり、これは部品の熱処理および／または化学処理によって実施される。例えば、粉末22の粒径は、開放気孔を有する部品を製造するように設定することができ、またエポキシなどの物質を部品中に噴射すれば、所望の噴射特性、例えば、圧縮強さ、耐摩性、均質性などが得られる。

粉末22の性能を改良する2,3の特性が確認された。第1に、カーボンブラックなどの顔料の添加によって、粉末の吸収エネルギーを制御することができる。添剤の濃度と組成の調節によって、粉末の吸収率Kを制御することができる。一般にエネルギー吸収率は下記の指数崩壊関係式によって支配される。

$$I(z) = I_0 \exp(Kz)$$

ここに $I(z)$ は表面に対する垂直距離 z における粉末中の最適吸収エネルギー強さ（単位面積当たり粉末）、 I_0 は I の表面値（表面におけるエネルギー強さ）、また K は吸収率とする。吸収率 K の調節と一定量のビームエネルギー量を吸収する層の厚さの調節によって、この工程中に吸収されるエネルギーを全体的に制御することができる。

粉末の他の重要な特性は、粒子のアスペクト比（すなわち粒子の最大寸法と最小寸法の比）である。すなわち、ある範囲のアスペクト比を有する粒子は、部品の収縮中に湾曲する傾向がある。低いアスペクト比を有する粒子、すなわち殆んど球形の粒子の場合、部品の収縮はより三次元的となり、より大きな湾曲を生じる。高いアスペクト比を有する粒子（例えばフレーク状またはロッド状）の粒子を使用する場合、収縮は主として垂直方向に生じ、部品の湾曲度を減少させまたは除去する。高いアスペクト比の粒子はより大きな結合自由度を有するも

のと考えられ、粒子間接触は優先的に水平面に配向されて、収縮は主として垂直方向に生じる。

第9図と第10図について説明すれば、分与機構114は、製造中の部品を乱すことなく目標区域102の中において制御された平坦な粉末層を生じることを見出した。秤量された粉末量106を目標区域102の末端110に堆積させる。粉末が分与された時にドラム116を末端110から移動させる。第10図に図示のように、粉末を山状に分与した後、プレート130とバー120（および付属の機構）を垂直に上昇させる。プレート130がホッパ104の方に移動して、ドラム116を末端110に沿った粉末の山に隣接する位置にもってくる。そこでドラム116を下降させて粉末の山と接触させ、目標区域102に沿って水平方向に移動させて、粉末の山を平坦な層状に広げる。もちろん、テーブル128に対するプレート130の正確な位置を制御することができるので、ドラム116と目標区域102の間隔が正確に制御されて、粉末層に所望の厚さを与えることができる。好ましくは、ドラム116と目標区域102との間隔は一定であって、平行運動を生じるが、これ以外の間隔オプションも可能である。

ドラム116が目標区域102に沿って水平に末端110から他端112まで移動される際に、モータ118が生かされて、ドラム116を逆回転させる。第9図に図示のように「逆回転」とは、ドラム116が目標区域102に沿って水平に移動する方向Mに対して逆方向Rに回転されることを意味する。

さらに詳しくは、第9図においてドラム116は粉末の山106の後端と接触して高速で逆回転される。粉末に対するドラムの機械的作用が粉末を運動方向Mに放出するので、放出された粒子が粉末の山の先端区域162に落下する。第9図に図示のように、ドラム116の背後に（ドラム116と末端110との間に）平坦な平坦粉末層164が残される。

また第9図は、粉末106が先に焼結された粉末166あるいは焼結されていない粉末168を攪乱することなく、目標区域上に分布されうことを示す。すなわち、ドラム116は、先に形成された層に対して剪断作用を加えることなくまた製造中の製品を攪乱することなく、目標区域に沿って移動させる。剪断作用が加えられないので、焼結された粒子166と非焼結粒子168とを含む目標区域の脆い基層上に平滑な粉末層106を分布させることができる。

インターフェースとソフトウェア

インターフェースハードウェアが作動的にコンピュータ40をレーザ12と検流計47,48とに接続している。コンピュータ40の出力ポート（第1図および第3図参照）が直接にレーザ12に接続されて、このレーザ12を選択的に変調する。パルスモードで作動される時、レーザ12はそのパルスゲート入力に対するデジタル入力によって容易に制御される。検流計48は関数発生ドライバ50によって

駆動されて、コンピュータ40からの制御信号のいかに係わらず、急速走査軸線50に沿ってビームを駆動する。しかし第3図に図示のように、検流計48からの位置フィードバック信号が電圧比較器74に供給される。比較器74の他方の入力にはデジタルアナログ変換器76に接続され、この変換器76はコンピュータ40のユーザポートの少なくとも有効6ビット（ビット0-5）を表示する。第3図に図示のように、電圧比較器74の出力はコンピュータ40のユーザポートのフラッグラインに接続されている。検流計48からのフィードバック信号がD/A変換器76からの信号とクロスすることを比較器74が確認した時、フラッグラインがロウになって、ノンマスカブル割り込みを生じる。下記に述べるように、ノンマスカブル割り込みは次のデータバイトをコンピュータ40のユーザポートに出す。

最後に第3図に図示のように、低速走査軸線70に沿ってレーザビーム64の標的を駆動する検流計49は、第2D/A変換器78によって制御される。D/A変換器78はカウンタ79によって駆動され、このカウンタは急速走査軸線68に沿ってビーム64の標的の掃引ごとに増分する。8バイトカウンタは、急速走査軸線68に沿った256走査後にオーバフローしてラスタ走査ボタン66の新しいサイクルを開始するように設計されている。

好ましくは、各ラスタ走査ボタン66に対する制御情報（すなわち断面区域の境界）データは、製造される部位の全体寸法として形状を与えられたCADシステムによって決定される。各ラスタ走査ボタン66に対する制御情報データは、プログラミングされるにせよ誘導されるにせよ、コンピュータメモリの中に一連の8ビットワードとして記憶される。データ書式は、レーザ12の「オン」区域と「オフ」区域のボタンと、ビーム64の標的によってラスタ走査ボタン66に沿って走行される距離との対比を示す。このデータは「トグルポイント」書式で記憶され、この書式においてデータは、各ラスタ走査ボタン66に沿ってレーザが変調される（すなわちオンからオフまたはオフからオンに転換される）距離を表示する。「ビットマップ」書式を使用することもできるが、高解像度部品の製造のためには、トグルポイント書式の方が有効であることが発見された。

各8ビットワードについて、少なくとも有効6ビット（ビット0-5）は、次のトグルポイント、すなわちレーザ12の変調箇所を表示する。次のビット（ビット6）は、少なくとも有効6ビットによって同定されたトグルポイントの直前においてレーザがオンであるかオフであるかを表示する。最上位ビット（MSBまたはビット7）はルーピングとレーザビーム標的の低速走査軸線70の制御とのために使用される。Commodore64は限られたメモリを有するので、ルーピングが必要であった。これより大きいメモリを有するコンピュータ40はルーピングを必要としないことは理解されよう。

第6図はデータ計測プログラムの流れ図である。フラッグラインがロウになってノンマスカブル割り込みを生じた時に（第3図）、常にデータメタリングプログラムが実行される。ノンマスカブル割り込みによって、コンピュータ40のマイクロプロセッサは、割り込みに際してプログラム制御が転送されるメモリ中の位置を示す2バイト割り込みベクトルを検索する。第6図に図示のように、データメタリングプログラムがまずレジスタをスタック上に押し、次に後続のデータバイトをアキュムレータの中にロードする。データワードはまたユーザポートに対する出力であって、レーザ12の変調のために6ビットが使用される（第3図）。

第6図に図示のようにアキュムレータ中のデータワードの最上位ビット（MSBまたはビット7）を調べる。もしこの最上位ビットの値が1であれば、これはループの末端に到達していないことを意味する。従ってデータポイントが増分され、レジスタがスタックから復元され、データメタリングプログラムがエグジットされて、制御をマイクロプロセッサの割り込み位置に戻す。アキュムレータ中の最上位ビットがゼロであれば、データワードはループ中の最後のワードである。データワードがループ中の最後のワードであれば、メモリ中の次のビットはループカウンタであって、次の2バイトがループの頂点を示すベクトルである。第6図に見られるように、最上位ビットがゼロ（ループ末端）に等しければ、ループカウンタ（次のビット）が減分されて分析される。ループカウンタがなおゼロより大であれば、データポイントがループカウンタの次の2メモリバイトから値を取って、レジスタがスタックから復元され、プログラム制御が割り込み位置に戻る。他方、ループカウンタがゼロであればデータポイントが3だけ増分され、ループカウンタはプログラムをエグジットする前に10にリセットされる。コンピュータ40のメモリサイズが十分であれば、このようなルーピングの必要性が解除されることは理解されよう。

実施例

第4図と第5図において、部品52が図示されている。この図から明らかなように部品52は対称的でない異常な形状を有するので、通常の機械加工法を使用して製造することは困難である。さらに詳しくは、この部品52は、内側空孔部82と、同空孔部82の中に配置した柱84とを有する外側基本構造80を含む（第4図参照）。第5図は、第1図に図示の目標区域26を画成する区画構造28の内部に配置された部品52を示す。この第5図に見られるように、粉末22の一部は緩いが、粉末の他の部分は焼結されて部品52の構造を成している。第5図は垂直断面図であって、部品52の焼結された一体化結合部分を斜線で示す。

第7図は第4図の7-7線に沿ってとられた水平断面区域を示す。この第7図は、製造される部品の断面区域

の別個の層86を示している。この焼結された区域86は第2図のシングルラスタボタン66の生産物である。

参考のために、焼結層86を通る掃引線を「L」で示した。第8図は掃引L中のソフトウェアおよびハードウェアのインターフェース動作を示す。一番上のグラフは、急速軸線検流計48からのフィードバック信号の位置と、第1デジタル/アナログ変換器76の出力信号の位置を示す(第3図参照)。これらのフィードバック信号と第1D/A出力信号がクロスするたびに、電圧比較器74がコンピュータ40のフラッグラインに対して出力信号を発生す

る。第8図の一番上のグラフにおいて、これらの点はトグルポイントを表示するTで示されている。第8図の最下グラフに見られるように、フラグインは各トグルポイントTに対応するノンマスカブル割り込み信号を発生する。各データワードの第6ビットが分析され、レーザ12の現状がこの値を反映する。第8図の下から2番目のグラフは第7図の掃引線Lに対するレーザ変調信号を示す。第8図の第2グラフは最上位ビットの立ち上がり線が急速走査軸線68に沿ったレーザビーム64の標的の各掃引の末端と一致することを示す。第3図と第6図に図示のようにカウンタ79は立ち上がり線に対して増分し第2D/A変換器78に信号を出力して、低速軸線検流計49を駆動する。

本発明の方法により、図示の実施例から明らかなように、複雑な形状の部品を比較的容易に製造することができる。当業者には明らかなように、第4図に示す部品は通常の機械加工法によって製造することが困難である。特にこの部品52が比較的小寸法の場合、キャビティ82と柱84を工作機械によって製造することは不可能でないまでも困難である。

通常の工具を使用する場合の問題点を除くほか、本発明による製造精度は、工具の摩耗度および機械成分の精度に依存しないことが理解されよう。すなわち、本発明の方法によって製造される部品の精度と公差は主としてエレクトロニクス、光学および使用されるソフトウェアの品質に依存している。もちろん伝熱作用と素材の問題が達成される公差に影響する。

当業者には明らかなように、通常の機械加工技術は人間の相当の介入と判断とを必要とする。例えばフライス削りなどの加工の場合、工具の選択、部品の割り付け、切削の手順など人間の思考を必要とする。テープ制御フライス削り機の制御テープの製造の場合、このような判断はさらに重要となる。これに対して、本発明では、製

造される部品の各断面区域に関するデータのみが必要である。このようなデータは簡単にコンピュータ40の中にプログラミングすることができるが、好ましくはコンピュータ40がCAD/CAMシステムを含む。すなわちCAD/CAM部分が製造される製品の全体的寸法と形状を与えられ、コンピュータがこの部品の各断面区域の境界を決定する。このようにして部品情報の広大なインベントリが記憶され、選択的にコンピュータ40に対して送られる。本発明により、セットアップ時間、部品の特殊加工または人間の介入なしで、特定の部品を製造することができる。粉末冶金法および通常の鑄造法に伴う複雑で高価なダイス型の使用が避けられる。

従来の製造技術を使用しても大量生産ラインおよび一部の部品の材料特性を効果的に使用することができるが、本発明の方法は多くの関係において有効である。特にプロトタイプと鑄造模型を容易にまた安価に製造することができる。例えば砂型、ロウ型またはその他の鑄造技術において鑄造模型を容易に使用することが可能となる。さらに製造数量が非常に少ない場合、例えば老朽取り替え部品などの場合、本発明方法によるこれらの部品の製造は非常に有利である。そして船舶上または宇宙空間など、製造設備の寸法が限られている場合にも、本発明は有効である。

図面の簡単な説明

第1図は本発明に使用する装置の分解斜視図、

第2図は本発明方法によって製造される部品の一部および目標区域に対するレーザビームのラスタボタンを示す斜視図、

第3図はコンピュータ、レーザおよび検流計の間に配置されるインターフェースハードウェアを示すブロック線図、

第4図は本発明によって製造される部品の一例を示す斜視図、

第5図は第4図の部品の部分断面図、

第6図は本発明によるデータ計測プログラムの流れ図、

第7図は第4図の7-7線に沿ってとられた断面図、

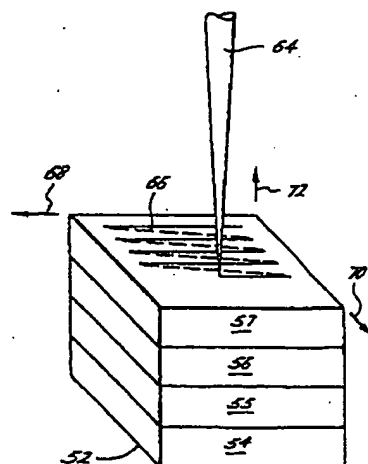
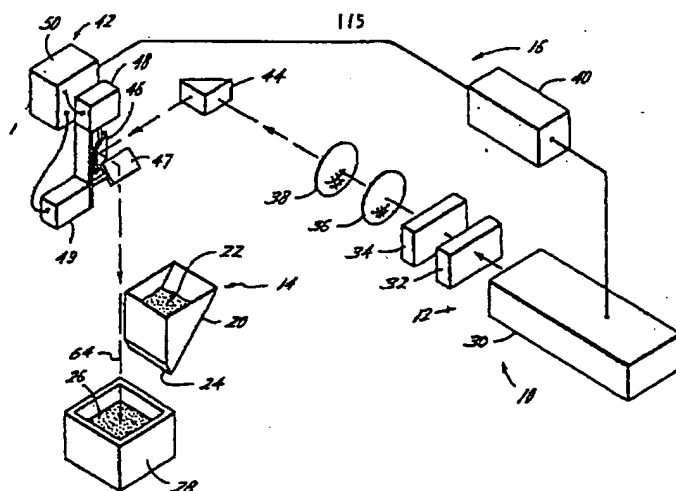
第8図は第7図の層に沿ったレーザの1回の掃引と制御信号との関係を示すダイヤグラム、

第9図は、製造される部品の層上に配置された粉末を分布させる装置の垂直断面図、

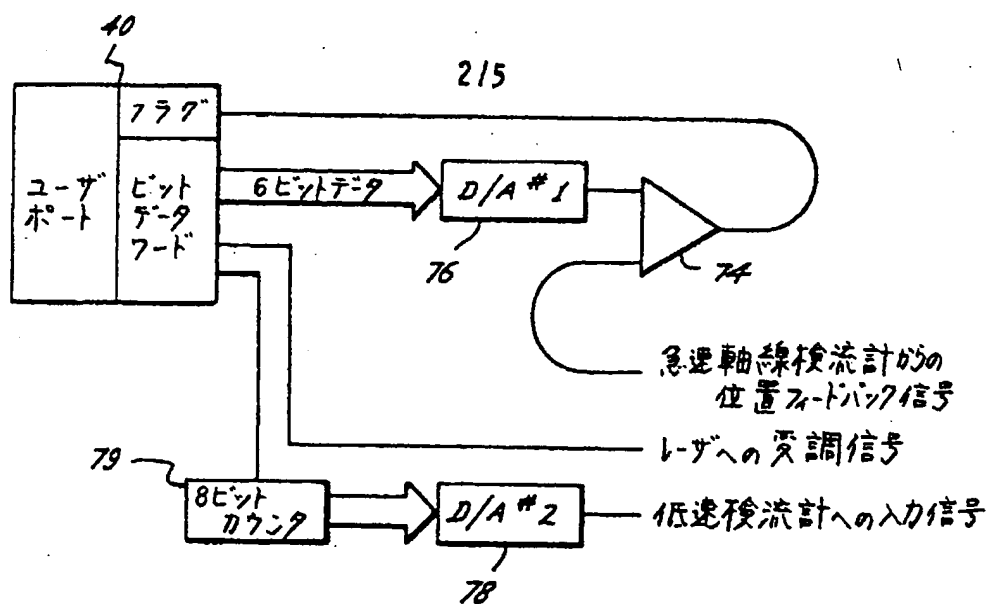
第10図は第9図の装置の斜視図、

また第11図は粉末温度調整手段の断面図である。

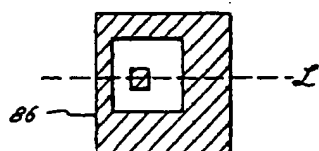
【第2図】



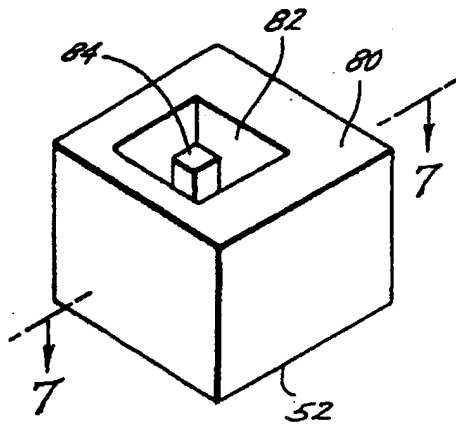
【第3図】



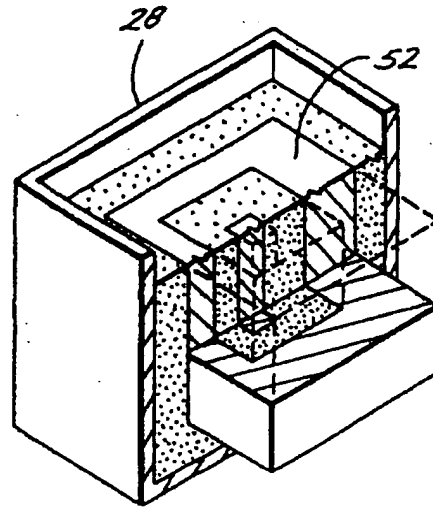
【第7図】



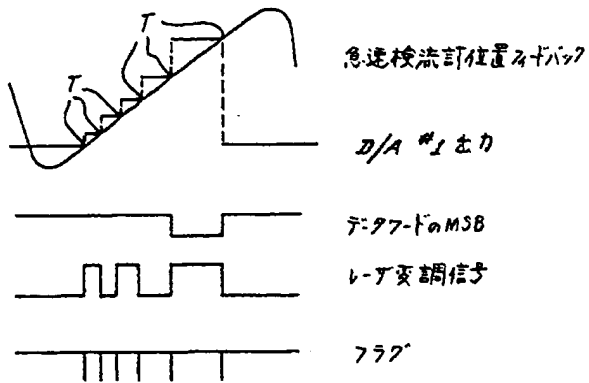
【第4図】



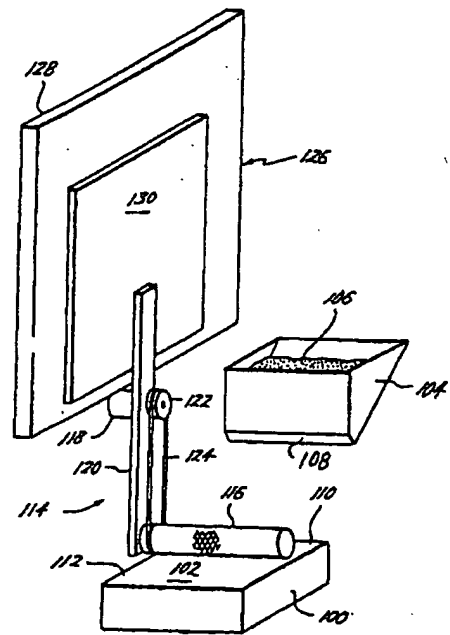
【第5図】



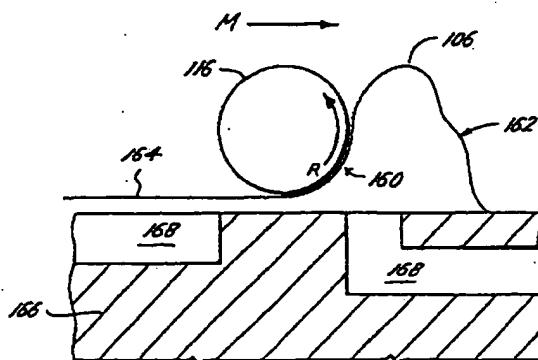
【第8図】



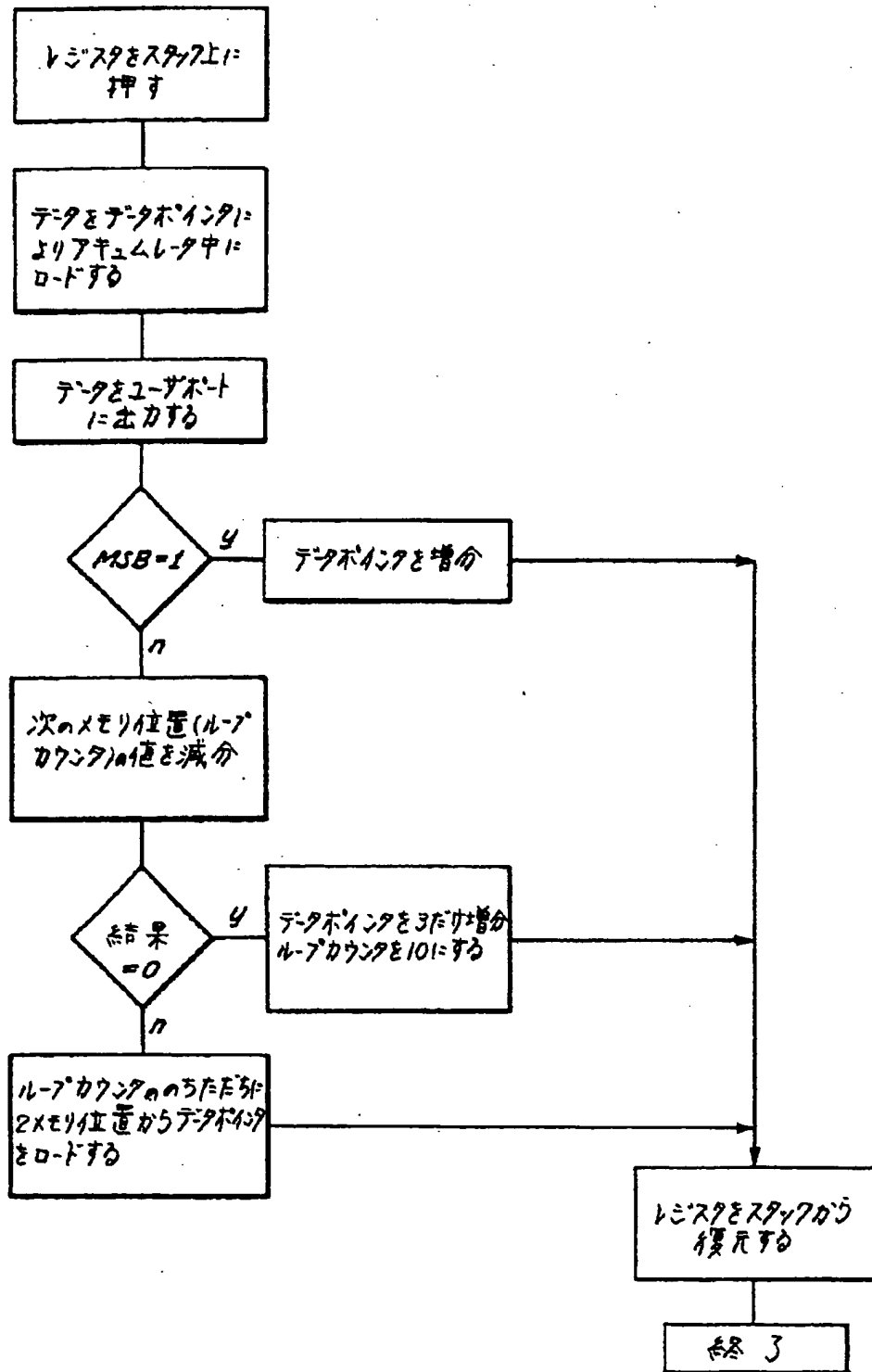
【第10図】



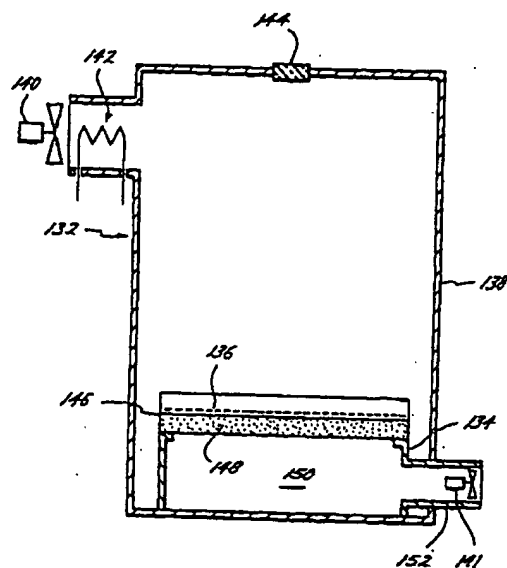
【第9図】



【第6図】



【第11図】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 昭62-21465 (J P, A)
特開 昭57-160975 (J P, A)
特開 昭61-91371 (J P, A)
特公 昭53-7383 (J P, B2)